

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10301097 A

(43) Date of publication of application: 13.11.98

(51) Int. Cl

G02F 1/1335

(21) Application number: 09110835

(71) Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22) Date of filing: 28.04.97

(72) Inventor: KUMAKAWA KATSUHIKO

(54) LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE

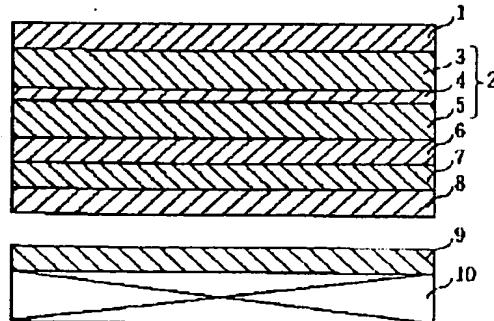
and emitted.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the liquid crystal display device in which the light beams emitted from a back light in a slanted direction are sufficiently utilized, the practical utilization efficiency of the beams is improved and the visual field angle characteristic is greatly enhanced.

SOLUTION: The device is provided with a back light 10, light diffusing elements 9, a cholesteric liquid crystal layer 8, which passes one of the circularly polarized light beams among the clockwise and the counterclockwise polarized light beams and reflects the other circularly polarized light beams, a phase plate 7 which transforms the circularly polarized light beams into linearly polarized light beams, a liquid crystal panel 2 and linearly polarizing plates 1 and 6 which conduct polarizing display. The elements 9 emit the incident light beams while maintaining the incident angle if the angle is not more a diffusing starting angle θ_{p1} . If the incident angle is more than the angle θ_{p1} , the incident light beams are diffused



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-301097

(43)公開日 平成10年(1998)11月13日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/1335

識別記号

F I
G 0 2 F 1/1335

審査請求 未請求 請求項の数17 ○L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平9-110835

(22)出願日 平成9年(1997)4月28日

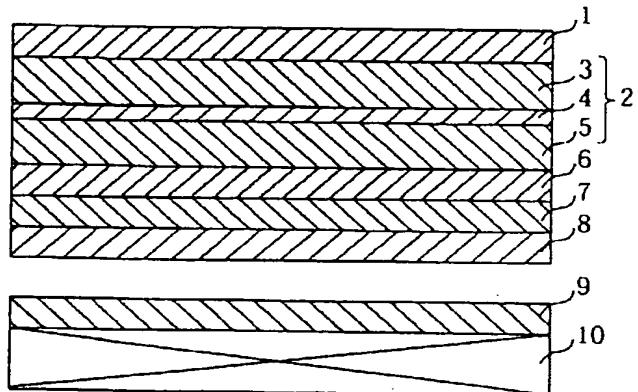
(71)出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者 熊川 克彦
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74)代理人 弁理士 大前 要

(54)【発明の名称】 液晶表示装置

(57)【要約】

【課題】バックライトから斜め方向に出射された光を十分に活用し、実質的なバックライト光の利用効率を向上させ、明るく視野角特性の良好な液晶表示装置を提供することを目的としている。

【解決手段】バックライト10と、光拡散素子9と、右回り円偏光と左回り円偏光のうちの一方の円偏光を透過させ他方の円偏光を反射させるコレステリック液晶層8と、円偏光を直線偏光に変換する位相板7と、液晶パネル2と、偏光表示を行うための直線偏光板1, 6とを備え、光拡散素子9は、入射光の入射角度が拡散開始角度 θ_{p1} 未満のときには入射光をその入射角度を維持したまま出射させ、拡散開始角度 θ_{p1} 以上のときには入射光を拡散して出射させるように構成されていることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 バックライトと、
入射光の入射角度が法線に対して予め定められた拡散開始角度 θ_{p1} 未満のときには、入射光をその入射角度を維持したまま出射させ、入射光の入射角度が前記拡散開始角度 θ_{p1} 以上のときには、入射光を拡散して出射させる光拡散素子と、
右回り円偏光と左回り円偏光のうちの一方の円偏光を透過させ、他方の円偏光を反射させる円偏光分離層と、
円偏光を直線偏光に変換する位相板と、
液晶パネルと、
偏光表示を行うための直線偏光板と、を備え、バックライトと光拡散素子と円偏光分離層と位相板とがこの順序で液晶パネルの背面側に配置され、直線偏光板が液晶パネルの前面側に配置されていることを特徴とする液晶表示装置。

【請求項2】 前記拡散開始角度 θ_{p1} が15度以上35度以下であることを特徴とする請求項1記載の液晶表示装置。

【請求項3】 前記拡散開始角度 θ_{p1} が20度以上30度以下であることを特徴とする請求項1記載の液晶表示装置。

【請求項4】 前記位相板と前記液晶パネルの間に、第2の直線偏光板が配置されていることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の液晶表示装置。

【請求項5】 前記液晶パネルの前面側か、又は前記位相板と前記液晶パネル間のいずれか一方に、第2の光拡散素子が配置され、この第2の光拡散素子は、入射光の入射角度が法線に対して予め定められた拡散終了角度 θ_{p3} 未満のときには、入射光を拡散して出射させ、入射光の入射角度が前記拡散終了角度 θ_{p3} 以上のときには、入射光をその入射角度を維持したまま出射させることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の液晶表示装置。

【請求項6】 前記拡散終了角度 θ_{p3} と前記拡散開始角度 θ_{p1} とが、 $\theta_{p3} \geq \theta_{p1} - 5$ とされていることを特徴とする請求項5記載の液晶表示装置。

【請求項7】 前記拡散終了角度 θ_{p3} と前記拡散開始角度 θ_{p1} とが、 $\theta_{p3} \geq \theta_{p1}$ とされていることを特徴とする請求項5記載の液晶表示装置。

【請求項8】 前記円偏光分離層はコレステリック液晶層であることを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の液晶表示装置。

【請求項9】 バックライトと、右回り円偏光と左回り円偏光のうちの一方の円偏光を透過させ他方の円偏光を反射させるコレステリック液晶層と、円偏光を直線偏光に変換する位相板と、液晶パネルと、偏光表示を行うための直線偏光板とを備え、バックライトとコレステリック液晶層と位相板とがこの順序で液晶パネルの背面側に配置され、直線偏光板が液晶パネルの前面側に配置さ

れ、

コレステリック液晶層は、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つことを特徴とする液晶表示装置。

【請求項10】 前記位相板と前記液晶パネルの間に、第2の直線偏光板が配置されていることを特徴とする請求項9記載の液晶表示装置。

【請求項11】 バックライトと、右回り円偏光と左回り円偏光のうちの一方の円偏光を透過させ他方の円偏光を反射させる円偏光分離層と、円偏光を直線偏光に変換する第1及び第2の位相板と、液晶パネルと、偏光表示を行うための直線偏光板とを備え、バックライトと円偏光分離層と第1及び第2の位相板とがこの順序で液晶パネルの背面側に配置され、直線偏光板が液晶パネルの前面側に配置され、

第1及び第2の位相板は1軸異方性を有し、かつ、第1の位相板の屈折率異方性と第2の位相板の屈折率異方性が逆符号とされ、各第1及び第2の位相板の常屈折率と異常屈折率の平均値を各第1及び第2の位相板の屈折率とした場合において、第1の位相板と第2の位相板のうちのリターデーションの絶対値が大きい方の位相板の屈折率が、他方の位相板の屈折率より大とされていることを特徴とする液晶表示装置。

【請求項12】 前記第1の位相板と前記第2の位相板の主軸がほぼ平行であるであることを特徴とする請求項11記載の液晶表示装置。

【請求項13】 前記円偏光分離層はコレステリック液晶層であることを特徴とする請求項11又は請求項12に記載の液晶表示装置。

【請求項14】 前記コレステリック液晶層は、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つことを特徴とする請求項13記載の液晶表示装置。

【請求項15】 バックライトと、右回り円偏光と左回り円偏光のうちの一方の円偏光を透過させ他方の円偏光を反射させる円偏光分離層と、円偏光を直線偏光に変換する第1及び第2の位相板と、液晶パネルと、偏光表示を行うための直線偏光板とを備え、バックライトと円偏光分離層と第1及び第2の位相板とがこの順序で液晶パネルの背面側に配置され、直線偏光板が液晶パネルの前面側に配置され、

第1及び第2の位相板のうちの少なくともいずれか一方の位相板は2軸異方性を有し、かつ、第1の位相板の面内屈折率異方性と第2の位相板の面内屈折率異方性が逆符号とされ、更に、第1の位相板と第2の位相板のうちのリターデーションの絶対値が小さい方の位相板に関するリターデーションの視野角依存性が、他方の位相板に関するリターデーションの視野角依存性より大きくなるように、前記2軸異方性を有する位相板の法線方向の主屈折率と面内の主屈折率との大小関係が定められている

ことを特徴とする液晶表示装置。

【請求項16】前記円偏光分離層がコレステリック液晶層であることを特徴とする請求項15に記載の液晶表示装置。

【請求項17】前記コレステリック液晶層は、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つことを特徴とする請求項16記載の液晶表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、映像や文字情報の表示を行う液晶表示装置、特に偏光を用いた表示を行う液晶表示装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】液晶表示装置は薄型軽量の特長により、携帯端末・パーソナルコンピュータ・薄型テレビなどの表示ディスプレイとして広く用いられている。液晶表示には多くの表示モードがあるが、現在広く用いられているものは、ツイステッド・ネマティック型(TN型)、及びスーパー・ツイステッド・ネマティック型(STN型)の2方式であり、いずれも2枚の偏光板の間に配置された液晶層の偏光変調作用により表示を行う偏光表示モードである。これらの液晶表示装置をバックライトにより照明した場合、偏光板により照明光の多くが吸収され、表示輝度はもとの照明光の輝度に比べて大幅に低下してしまう。特に、バックライト側の偏光板は、光が液晶層に入射する前に照明光の半分以上を吸収するので、バックライト側の偏光板で吸収される偏光を通過する偏光に変換して光の利用効率を上げ、低電力で明るい表示を得ようとする試みがなされている。

【0003】特開平7-35925号公報には、コレステリック液晶と1/4波長板を用いた偏光素子により、バックライト側の偏光入射効率を向上させる技術が開示*

$$\lambda_0 = n \times p \times \cos \theta$$

を満たすλ0付近の限られた範囲であるため、λ0の異なる複数枚のコレステリック液晶層54を積層することによりバンド幅を広げ、可視光全体をカバーする技術が開示されている。なお、上式において、nは液晶材料の屈折率、pはコレステリック液晶のらせんのピッチ、θは法線方向から測った層内伝播光の角度である。

【0005】また、アイ・ディー・ダブリュー96(I DW96)予稿集の309~312ページには、上記の特開平7-35925号公報の構成に加えて、1/4波長板と液晶パネルの間に直線偏光板を配置する構成が開示されている。すべての波長の光に対してリターデーションが1/4波長となる位相板を作製することは困難であるので、特開平7-35925号公報の構成では液晶層に入射する光に所望の直線偏光以外の成分が生じて表示のコントラストが低下する。しかし、この予稿集に開示の構成は、液晶パネルに入射する光を完全な直線偏光

*されている。図19はその構成を示すものである。これはコレステリック液晶の選択反射特性に基づく円偏光の分離を利用したもので、液晶表示装置51は、バックライト53と反射板52よりなる光源部分と液晶パネル56の間に、コレステリック液晶層54と1/4波長板55よりなる後方の偏光素子を配置した構成を持ってい。例えばコレステリック液晶層54が右ねじれ構造である場合には、バックライト53から発せられた光のうち、左回り円偏光成分はこの層を通過し、右回り円偏光成分はこの層で反射される。通過した左回り円偏光は1/4波長板55により所定の直線偏光とされて液晶パネル56に入射する。

【0004】一方、コレステリック液晶層54で反射された右回り円偏光は反射板52に到達し、ここで反射されて、一部が左回り円偏光となって再びコレステリック液晶層54に入射する。この入射光のうち、左回り円偏光成分は上記と同様にこの層を通過し1/4波長板55により所定の直線偏光とされて液晶パネル56に入射する。残りの右回り円偏光は、コレステリック液晶層54により再反射され、反射板52に再び入射する。この光は上記と同様に、一部が左回り円偏光となってコレステリック液晶層54に向かう。このように、コレステリック液晶層54と反射板52の間で反射を行っているうちに、右回り円偏光が徐々に左回り円偏光となり、コレステリック液晶層54を通過して液晶パネル56への入射光となる。各層における光の吸収はほとんどないので、光源からの出射光を効率よく液晶パネル56に入射させることができる。液晶パネル56の前方には直線偏光板57が配置されて偏光表示を行っている。58は観察者である。更に、この特開平7-35925号公報には、コレステリック液晶層54の選択反射の生じる波長は次の条件

(1)

とすることにより、コントラストの向上が図られている。また、コレステリック液晶のらせんピッチを層の厚み方向に徐々に変化させることにより、広帯域の波長に対応した反射特性を得る技術も開示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の液晶表示装置においては、斜め方向に進む光に対しては、コレステリック液晶層の見かけ上のピッチが変わるために(1)式に示すように反射波長が正面と異なったものになる。また、1/4波長板のリターデーションには視野角依存性が存在するので、ここからの出射光の偏光状態の波長依存性が正面の設計値からずれる。例えば、1軸延伸フィルムによる位相板のリターデーションは光の伝搬方向が傾くと、後述する実施の形態の項で詳述するように、延伸方向では $\cos \theta$ の割合で減少し、それと直交する方向では $1/\cos \theta$ の割合で増

加する。このため、液晶表示装置を斜め方向から見た場合は正面方向に比べて、表示の色相が大きく変わってしまうという課題を有していた。

【0007】さらに、 $1/4$ 波長板の視野角依存により次のような課題も発生する。 $1/4$ 波長板は円偏光を直線偏光に変換する作用を持つが、リターデーションが $1/4$ 波長からずれるにしたがって、出射光も直線偏光からずれてくる。このため、 $1/4$ 波長板と液晶パネルの間に直線偏光板がない場合には、液晶パネルの液晶層に梢円偏光が入射するため、斜め方向のコントラストが低下する。一方、 $1/4$ 波長板と液晶パネルの間に直線偏光板がある場合には、この直線偏光板でカットされる偏光成分が増加するので斜め方向の輝度が低下する。このように従来の液晶表示装置はバックライトから斜め方向に出射された光を十分には活用していないので、実質的なバックライト光の利用効率が十分には高くないという課題を有していた。

【0008】本発明は、上記従来の課題を考慮したものであって、バックライトから斜め方向に出射された光を十分に活用し、実質的なバックライト光の利用効率を向上するようにした液晶表示装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明のうちで請求項1記載の発明は、バックライトと円偏光分離層との間に、入射光の入射角度が法線に対して予め定められた拡散開始角度 θ_{p1} 未満のときには、入射光をその入射角度を維持したまま出射させ、入射光の入射角度が前記拡散開始角度 θ_{p1} 以上のときには、入射光を拡散して出射させる光拡散素子が配置されていることを特徴とする。

【0010】上記の如く構成したことにより、バックライト光のうちの入射角度が拡散開始角度 θ_{p1} 以上の斜め方向の光が、光拡散素子により拡散され、この拡散された成分のうちの法線方向成分の光量分だけ、円偏光分離層への法線方向の入射光量が増加する。したがって、円偏光分離層において、有効に偏光変換される光量が増え、バックライト光の利用効率が増加する。これにより、少ない消費電力で明るい表示が可能となる。

【0011】また請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明のうち、拡散開始角度 θ_{p1} が 15 度以上 35 度以下であることを特徴とする。上記の如く構成した理由は、拡散開始角度 θ_{p1} が小さすぎると、法線方向から若干傾いた入射光までが拡散されるため、法線方向及びその周辺方向に進む光の光量が減少する。そのため、所望する明るさで見える角度範囲が狭すぎるという問題が生じる。一方、拡散開始角度 θ_{p1} が大きすぎると、バックライト光の利用効率の向上が不十分で、表示輝度があまり増加しないという問題が生じる。かかる観点を考慮して、拡散開始角度 θ_{p1} が 15 度以上 35 度以下と

することにより、実用上支障のない程度の角度範囲及び表示輝度が得られる。

【0012】また請求項3記載の発明は、請求項1記載の発明のうち、拡散開始角度 θ_{p1} が 20 度以上 30 度以下であることを特徴とする。このように構成したことにより、請求項2記載の発明に比べて、より望ましい角度範囲及び表示輝度が得られる。

【0013】また請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の発明のうち、位相板と液晶パネルの間に、第2の直線偏光板が配置されていることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、液晶パネルに入射する光の直線偏光性が向上するので、表示のコントラストが高くなるという作用を有する。

【0014】また請求項5記載の発明は、請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の発明のうち、液晶パネルの前面側か、又は位相板と液晶パネル間のいずれか一方に、第2の光拡散素子が配置され、この第2の光拡散素子は、入射光の入射角度が法線に対して予め定められた拡散終了角度 θ_{p3} 未満のときには、入射光を拡散して出射させ、入射光の入射角度が前記拡散終了角度 θ_{p3} 以上の場合には、入射光をその入射角度を維持したまま出射させることを特徴とする。

【0015】上記の如く構成したことにより、入射角度が拡散終了角度 θ_{p3} 未満である法線方向およびその周辺方向に進む光は拡散し、入射角度が拡散終了角度 θ_{p3} 以上である斜め方向の光は透過する。したがって、液晶パネルの前面側に第2の光拡散素子を配置した構成の場合では、液晶パネルを通過した光のうち、法線方向及びその周辺方向に進む光が、拡散され、液晶表示装置の視野角特性が大きく向上するという作用を有する。これにより、請求項1記載の発明では、光拡散素子により正面方向は明るくなるが、斜め方向への光量は少なくなっているのに対して、本発明では、第2の光拡散素子を設けることにより、正面方向の光を斜め方向に拡散することができ、明るさの視野角依存性が少くなり、よりよい視野角特性の表示が得られる。

【0016】液晶パネルの後面側に第2の光拡散素子を配置した構成では、第2の光拡散素子による液晶表示装置の視野角特性が向上するという作用に加えて、外光によるコントラスト低下をさらに少なくすることができる。即ち、液晶パネルの後面側に第2の光拡散素子を配置した場合、外光が液晶パネルを通過する際に光量が吸収され、外光が第2の光拡散素子に到達しにくい。さらに、液晶パネルを通過した外光は第2の光拡散素子により反射され、この反射光は再び液晶パネルを通過して、光量が吸収される。したがって、液晶パネルの前面側に第2の光拡散素子を配置した構成に比べて、外光によるコントラスト低下が少ないとされる。

【0017】また請求項6記載の発明は、請求項5記載の発明のうち、拡散終了角度 θ_{p3} と拡散開始角度 θ_{p1}

1とが、 $\theta_{p3} \geq \theta_{p1} - 5$ とされていることを特徴とする。上記の如く構成した理由は、拡散開始角度 θ_{p1} が拡散終了角度 θ_{p3} より大きすぎる場合、即ち、光拡散素子の拡散領域が第2の光拡散素子の非拡散領域に比べて狭すぎる場合、集光された光がそのまま表示される領域が存在することになり、正面から徐々に視野角を増加させた場合、図7に示すような表示輝度が一旦上昇してから低下する凸状部分が生じ、表示が不自然なものになるという問題が生じる。 $\theta_{p3} \geq \theta_{p1} - 5$ とすることにより、前記凸状部分が実用上ほとんど支障のない程度となるという作用がある。

【0018】また請求項7記載の発明は、請求項5記載の発明のうち、拡散終了角度 θ_{p3} と拡散開始角度 θ_{p1} とが、 $\theta_{p3} \geq \theta_{p1}$ とされていることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、前記凸状部分がなくなり、表示特性が向上する。

【0019】また請求項8記載の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の発明のうち、円偏光分離層はコレステリック液晶層であることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、円偏光分離層として、例えば、らせん軸がねじれ構造となっている特別な偏光体などを使用する必要がなく、通常使用されているコレステリック液晶層を使用すればよいのでコストの低減が図れる。

【0020】また請求項9記載の発明は、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つコレステリック液晶層を用いたことを特徴とする。上記の如く構成したことにより、コレステリック液晶の選択反射波長の角度依存性が平均化され、斜め方向から液晶表示装置を見た場合の表示の着色が解消あるいは緩和される。従って、良好な表示が行える視野角範囲が増大する。また、視野角拡大効果により有効な出射光量が増大する結果、バックライト光の利用効率が増加する。

【0021】また請求項10記載の発明は、請求項9記載の発明のうち、位相板と液晶パネルの間に、第2の直線偏光板が配置されていることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、請求項9記載の発明の作用に加えて、液晶パネルに入射する光の直線偏光性が向上し、表示のコントラストが高くなるという作用を有する。

【0022】また請求項11記載の発明は、第1及び第2の位相板は1軸異方性を有し、かつ、第1の位相板の屈折率異方性と前記第2の位相板の屈折率異方性が逆符号とされ、各第1及び第2の位相板の常屈折率と異常屈折率の平均値を各第1及び第2の位相板の屈折率とした場合において、第1の位相板と第2の位相板のうちのリターデーションの絶対値が大きい方の位相板の屈折率が、他方の位相板の屈折率より大とされていることを特徴とする。

【0023】上記の如く構成したことにより、一方の

10

位相板のリターデーションの視野角変化が、他方の位相板のリターデーションの視野角変化により補償されるため、合成リターデーションの視野角変化が少なくなる。換言すれば、2枚の位相板を使用した本発明は、1枚の位相板を使用したものに比べて、リターデーションの視野角変化が少なくなったことを意味する。この結果、本発明では、1枚の位相板を使用するものに比べて、円偏光から直線偏光への変換特性の視野角特性が良好になり、斜め方向から液晶表示装置を見た場合の表示の着色が解消あるいは緩和され、良好な表示が行える視野角範囲が増大する。また、視野角拡大効果により有効な出射光量が増大する結果、バックライト光の利用効率が増加する。

20

【0024】また請求項12記載の発明は、請求項11記載の発明のうち、第1の位相板と第2の位相板の主軸がほぼ平行であるであることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、第1の位相板と第2の位相板の配置状態がリターデーションの視野角補償効果を最大とする方向に配置されたことになり、第1の位相板と第2の位相板の主軸が平行でない配置状態に比べて、良好な視野角特性を得るという作用を有する。

20

【0025】また請求項13記載の発明は、請求項11又は請求項12に記載の発明のうち、円偏光分離層がコレステリック液晶層であることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、請求項11又は12に記載の発明の作用に加えて、円偏光分離層として、例えば、らせん軸がねじれ構造となっている特別な偏光体などを使用する必要がなく、コストの低減が図れる。

30

【0026】また請求項14記載の発明は、請求項13記載の発明のうち、コレステリック液晶層が、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つことを特徴とする。上記の如く構成したことにより、2枚の位相板によるリターデーションの視野角補償効果と、らせん軸方向が所定の分布を持つコレステリック液晶層による円偏光分離特性の視野角特性の向上とが相まって、より良好な視野角特性が得られる。

40

【0027】また請求項15記載の発明は、第1の位相板と第2の位相板のうちのリターデーションの絶対値が小さい方の位相板に関するリターデーションの視野角依存性が、他方の位相板に関するリターデーションの視野角依存性より大きくなるように、2軸異方性を有する位相板の法線方向の主屈折率と面内の主屈折率との大小関係が定められていることを特徴とする。

40

【0028】上記の如く構成したことにより、位相板の視野角補償効果による視野角特性の向上が得られる。これにより、円偏光から直線偏光への変換特性の視野角特性が良好になり、そのため、斜め方向から液晶表示装置を見た場合の表示の着色が解消あるいは緩和され、良好な表示が行える視野角範囲が増大する。また、視野角拡

50

大効果により有効な出射光量が増大する結果、バックライト光の利用効率が増加することになる。なお、参考までに述べると、上記の1軸異方性を有する2枚の位相板を用いる構成では、屈折率にある程度の差が必要となるので、位相板の材料選定に制約が生じる。しかし、本請求項15記載の発明の構成であれば、2枚の位相板の屈折率がほぼ等しい程度のものであってもよく、位相板の材料選定に制約がないという効果も生じる。

【0029】また請求項16記載の発明は、請求項15に記載の発明のうち、円偏光分離層がコレステリック液晶層であることを特徴とする。上記の如く構成したことにより、請求項15記載の発明の作用に加えて、円偏光分離層として、例えば、らせん軸がねじれ構造となっている特別な偏光体などを使用する必要がなく、コストの低減が図れる。

【0030】また請求項17記載の発明は、請求項16記載の発明のうち、コレステリック液晶層が、らせん軸方向が選択反射波長の角度依存性を平均化するように面内で所定の分布を持つことを特徴とする。上記の如く構成したことにより、請求項15記載の発明に比べて、より良好な視野角特性が得られる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図1から図18を用いて説明する。

(実施形態1) 図1は本発明の第1の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、2は液晶パネルであり、液晶層4が2枚の基板3・5で挟持されている。表示モードはTN型あるいはSTN型であり、1は偏光表示を行うための直線偏光板であり、6は偏光表示を行うための第2の直線偏光板である。図示していないが、基板3・5の内面には液晶層に電圧を印加するための電極が形成されている。また、いずれかの基板上に薄膜トランジスタなどのスイッチング素子を形成すれば、コントラストが高く良好な表示を行うことができる。

【0032】8は円偏光を分離するためのコレステリック液晶層、7は円偏光を直線偏光に変換するための位相板である。コレステリック液晶層は、(1)式で θ を0としたときの反射波長(正面方向での反射波長) λ_0 が $400\sim650\text{ nm}$ をカバーするように、そのらせんピッチが連続的に変化している。バックライトのスペクトルに応じて反射波長の帯域を調整すれば、なお良好な特性が得られる。らせんピッチを連続的に変化させる代わりに、らせんピッチの異なる数枚のコレステリック液晶層を積層しても同様の効果を得ることができる。位相板7としては、例えば、ポリビニルアルコールやポリカーボネートなどのプラスチックフィルムが延伸されたもので、nを整数(0, 1, 2……)として、 $(2n+1)/4$ 波長のリターデーションを持つものを用いればよい。特に、リターデーションが $1/4$ 波長であるもの

は、特性の波長依存や視野角依存が他のものに比べて優れている点で望ましい。

【0033】また、10はバックライトであり、9はバックライト光を所望の方向に向けるための光拡散素子である。この光拡散素子9は、入射光の入射角度が法線に対して予め定められた拡散開始角度 θ_{p1} 未満のときは、入射光をその入射角度を維持したまま出射させ、入射光の入射角度が前記拡散開始角度 θ_{p1} 以上のときは、入射光を拡散して出射させる機能を有する。したがって、バックライト10から発せられた光が光拡散素子9に入射すると、図2に示すように、入射角度が拡散開始角度 θ_{p1} 未満である法線方向およびその周辺方向に進む光101は、そのまま透過し、入射角度が拡散開始角度 θ_{p1} 以上の斜め方向の光102は、拡散される。

【0034】図3は、上記光拡散素子9の効果を示すためのもので、バックライト10から光拡散素子9への入射光と、光拡散素子9からの出射光の角度分布を示している。なお、光拡散素子9としては、住友化学製のルミスティ・フィルムを用いた。このフィルムはある特定の角度範囲($\theta_{p1} \sim \theta_{p2}$)の光を散乱させる特性を持っている。したがって、光拡散素子9は、上記の図2に示す基本的機能に加えて、入射角度が角度 θ_{p2} 以上のときに、入射光をその入射角度を維持したまま透過させる機能をも有する。以下、図3を参照して、光拡散素子9の作用を説明する。図3において、一点鎖線L1は光拡散素子9への入射光強度を示し、実線L2は光拡散素子9からの出射光強度を示している。バックライト10から発せられた光のうち、斜め方向の拡散領域Bに入射した光は拡散されて、透明領域Aに入射した光に加えられるので、透明領域Aの光量が増加している。この結果、特に、 θ の小さい透明領域Aでコレステリック液晶層8に入射する光量が増大し、コレステリック液晶層8と位相板7の視野角依存性の影響を受けずに液晶パネル2に入射する光が増加する。

【0035】一方、光拡散素子9として住友化学製のルミスティ・フィルムを用いているので、 θ が大きい部分に透明領域Cが存在し、この部分の出射光量も増加している。透明領域Cはバックライト光の利用効率向上とは関係がなく、むしろ広すぎる場合には拡散領域Bが減少して悪影響を及ぼすので、ないほうが望ましい。入射角度 θ の大きい部分はバックライト光量も少なく、大きく拡散されたもののみが正面方向の光量増加に寄与するので、実用的には、 θ_{p2} が60度以上であればほとんど影響はなく、 θ_{p2} が75度以上であればなお好ましい結果が得られる。

【0036】コレステリック液晶層8と $1/4$ 波長板7よりなる部分は、上記したように、選択反射により左右の円偏光を分離し、透過光を $1/4$ 波長板7により直線偏光として液晶パネル2に入射させ、バックライト側に戻った光は再利用することにより照明光の有効利用を図

っている。第2の直線偏光板6は液晶パネル2に入射する光の直線偏光度を向上させて、表示素子のコントラスト特性を向上させるために設けられているが、高コントラストが要求されない場合にはこれを省略することもでき、ここでの光吸収がなくなる分、表示輝度が10%程度増大する。

【0037】コレステリック液晶層8と1/4波長板7よりなる部分の特性は、上記に説明したように視野角依存性を有するが、本実施形態の液晶表示装置においては、コレステリック液晶層8への入射光に関して、入射角度θが小さく法線に近い方向から入射する光の光量が多く、入射角度θが大きい方向から入射する光の光量が少なくなっている。したがって、従来例に比べて、コレステリック液晶層8と1/4波長板7よりなる部分での視野角依存性の影響を受ける光量が少なくてすむ。

【0038】また、コレステリック液晶層8で反射され*

*た光は光拡散素子9に上方から入射するが、光拡散素子9は光をほとんど吸収しないので、拡散領域Bの角度で入射したものの一部がここで反射されて再びコレステリック液晶層8に向かい、ほかの光はバックライト10に達する。この光はバックライト面で反射されて、再び光拡散素子9に下側から入射する。従って、コレステリック液晶層8で反射された光はほとんどロスなく再利用される。

10 【0039】拡散開始角度θp1は、小さすぎると液晶表示装置が明るく見える角度が狭すぎ、大きすぎると光利用効率の向上が不十分で表示輝度があまり増加しない。表1は拡散開始角度θp1と表示状態の関係を示したものであり、拡散開始角度θp1を20~30度の間に設定するのが最も良好な結果を示し、15~35度の間で実用上十分な表示特性が得られた。

【表1】

θp1(度)	表示	輝度特性の具体的な内容
5	×	輝度の低下し始める角度が小さすぎる
10	△	輝度の低下し始める角度がやや小さすぎる
15	○	良好な表示
20	◎	非常に良好な表示
25	◎	非常に良好な表示
30	◎	非常に良好な表示
35	○	良好な表示
40	△	輝度の向上効果がやや不足
45	×	輝度の向上効果が不足
50	×	輝度の向上効果が不足

尚、上記表1では、輝度特性の非常に良好な場合を◎、良好な場合を○、やや悪い場合を△、悪い場合を×で表示した。

【0040】従って、本実施形態の液晶表示装置においては、バックライト光の利用効率を向上させて、少ない消費電力で明るい表示を行うことができる。本実施形態の液晶表示装置は、パーソナル機器用のディスプレイなど、視野角特性より、正面方向の明るさや低消費電力化が要求される用途に、特に適している。

【0041】(実施形態2) 図4は本発明の第2の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、第1の実施形態と同じ構成要素には同じ番号をつけて、説明を省略する。第1の実施形態との違いは、液晶パネル2と出射側の直線偏光板1の間に第2の光拡散素子11を設けたことにある。この第2の光拡散素子11は、光拡散素子9とは逆の特性を有する。即ち、第2の光拡散素子11は、入射光の入射角度が法線に対しても定められた拡散終了角度θp3以未満のときは、入射光を拡散して出射させ、入射光の入射角度が前記拡散終了角度θp3以上のときは、入射光をその入射角度を

維持したまま出射させる機能を有する。したがって、液晶パネル2からの光が第2の光拡散素子11に入射すると、図5に示すように、入射角度が拡散終了角度θp3以未満である法線方向およびその周辺方向に進む光101は拡散し、入射角度が前記拡散終了角度θp3以上の斜め方向の光102は透過する。

40 【0042】図6は白表示における輝度と視野角の関係を示したものである。図中の1点鎖線L3は第2の光拡散素子11を用いない場合、実線L4は第2の光拡散素子11を用いた場合の特性を示している。第1の実施形態で説明した液晶表示装置は、光拡散素子9を使用しているので正面方向は明るくなるが、斜め方向への光量は少なくなっている。一方、本実施形態の液晶表示装置においては、光拡散素子11により正面方向の光を斜め方向に拡散しているので、第1の実施形態の液晶表示装置に比べて、明るさの視野角依存性が少なくなり、よりよい視野角特性の表示が得られている。

13

【0043】第2の光拡散素子11には、光拡散素子9と同様に、住友化学製のルミスティ・フィルムを用いることができるが、正面方向を含む角度範囲に拡散領域を持つように設計されたものを用いる必要がある。第2の光拡散素子11の拡散領域が光拡散素子4の非拡散領域に比べて狭すぎる場合には、集光された光がそのまま表示される領域が存在するので、輝度-視野角特性に図7に示すように凸状の部分が生じる。このため正面から徐々に視野角を増加させた場合、表示輝度が一旦上昇してから低下することになり、表示が不自然なものになるので望ましくない。

【0044】第2の光拡散素子11の拡散領域を $-\theta p_3 \sim +\theta p_3$ 、光拡散素子4の拡散領域を図3に示すように、正負ともに $\theta p_1 \sim \theta p_2$ とすると、

$$\theta p_3 \geq \theta p_1 \quad (\text{度})$$

であれば、この凸状の部分がなくなり見やすい表示が得られるが、

$$\theta p_3 \geq \theta p_1 - 5 \quad (\text{度})$$

の関係が満たされれば、凸状の部分の存在は実用上ほとんど感じられなくなる。第2の光拡散素子の拡散領域は全角度範囲としてもかまわないので、 θp_3 が大きすぎる場合には光が広い角度範囲に拡散されすぎるので、 θp_3 は60度以下に設定するのが望ましい。

【0045】本実施形態の液晶表示装置は、液晶層4中は、特性の良好な法線方向に光を主に伝播させ、液晶層を出た後に斜め方向に拡散しているので、液晶層4の特性に視野角依存がある場合にはそれを緩和するという働きもある。第2の光拡散素子11に偏光解消作用のない場合には、図4のように第2の光拡散素子11を、直線偏光板1と液晶パネル2の間に配置するのが望ましい。このような構成であれば、第2の光拡散素子11に入射しここで反射されて再出射する外光が直線偏光板1で吸収されるため、外光下でのコントラスト特性が良好であるという特長がある。第2の光拡散素子11の偏光解消作用が大きい場合には、上記の構成をとると、直線偏光板1による偏光表示が完了する前に偏光解消が起こるので、表示のオンオフ特性が劣化する。この場合は、偏光表示を行った後に光を拡散させるため、第2の光拡散素子11を直線偏光板1の観察者の側に配置するのが望ましい。

【0046】(実施形態3) 図8は本発明の第3の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、第1・第2の実施形態と同じ構成要素には同じ番号をつけて、説明を省略する。第2の実施形態との違いは、第2の光拡散素子11を位相板7と第2の直線偏光板6の間に配置したことにある。本実施形態においても第2の実施形態と同様に、第2の光拡散素子11は、法線方向およびその周辺方向に進む光は拡散させ、斜め方向の光を透過する性質を持っている。これにより、正面方向の光を斜め方向に拡散して液晶表示装置の明るさの

14

視野角依存性が少なくなるという利点があり、第2の実施形態と同様に、輝度変化の少ない視野角特性を得ることができる。

【0047】第2の光拡散素子11としては、第2の実施形態と同様に、正面方向を含む角度範囲に拡散領域を持つように設計された住友化学製のルミスティ・フィルムを用いることができる。本実施形態の液晶表示装置においても、コレステリック液晶層8と位相板7を法線方向に通過する光が多いので、バックライト光の利用効率

10 は従来のものに比べて向上している。第2の実施形態に比べると、第2の光拡散素子11が液晶パネル2の下側にあるため、外光によるコントラスト低下がさらに少なくなるという利点がある。第2の光拡散素子11は、第2の直線偏光板6と液晶パネル2の間に配置してもかまわないが、第2の直線偏光板6の背後に配置する方が、拡散された光が第2の直線偏光板6によって完全な直線偏光とされて液晶パネル2に入射し、表示コントラストが非常に高いものとなるという利点があるので望ましい。

20 【0048】上記に説明したように、光源側から、光拡散素子9、コレステリック液晶層8、位相板7、第2の光拡散素子11の順に積層された光学積層体は、広い出射角にわたって直線偏光を効率よくバックライトから取り出すことができる。また、第2の光拡散素子11の後に第2の直線偏光板6を配置すれば、容易に出射光の直線偏光度を向上させることもできる。この光学積層体を用いれば、液晶表示装置の背面光源部のほか各種の偏光照明において、効率向上や広角度化を図ることができ

る。

30 【0049】(実施形態4) 本実施形態の液晶表示装置は、図1の第1の実施形態では液晶層4はT N型あるいはS TN型としたが、本実施形態の液晶表示装置では液晶層4にポリマー分散型などの散乱型の液晶を用いている。散乱型の液晶は、電圧のオンオフにより散乱状態と透明状態を切り替えるもので、通常は、電圧が印加されていない場合には液晶がランダム状態で散乱状態、十分高い電圧が印加された場合には液晶分子の長軸が電界方向と平行に並ぶので透明状態となる。2枚の偏光板をその偏光軸が直交配置し、その間に散乱型の液晶を配置すると、液晶が透明状態にある場合には光が液晶を通過する際に偏光状態が変化しないので黒表示が、液晶が散乱状態にある場合には液晶の散乱によって偏光の解消が起きて白表示が行われる。

40 【0050】図1に示す液晶表示装置に上記の散乱型の液晶を用いた場合には、白表示を行う際に散乱現象により光の進路も拡げられるので、第2・第3の実施形態に示すような第2の光拡散素子11を用いることなく、輝度の視野角特性を向上させることができる。また、2枚の直線偏光板を偏光軸が直交するように配置した場合、これを斜め方向から見た場合には光漏れが生じるが、こ

15

の構成では黒表示では主として垂直方向に光が進むため、斜め光の割合が少なく、表示に黒浮きが発生しにくいという利点もある。

【0051】(実施形態5) 図9は本発明の第5の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、第1の実施形態と同じ構成要素には同じ番号をつけて、説明を省略する。本実施形態は、らせん軸方向に分布を持ったコレステリック液晶層12を用いている点と、光拡散素子9を用いていない点が第1の実施形態と異なる。液晶の表示モードは、TN型やSTN型でも構わないし、散乱型を用いることもできる。本実施形態で用いているコレステリック液晶層12は、図10に断面の模式図を示すように、らせん軸12が面内で分布をもって配列している。図中の曲線は液晶のらせん構造を便宜的に示したもので、矢印はらせん軸の方向を示している。らせんピッチは、層の厚みの方向に連続的に変化して可視光のほぼ全域をカバーしている。これは、らせん軸方向が分布しており、ピッチの異なるコレステリック液晶層を数層重ねた構成でもかまわない。

【0052】コレステリック液晶層の選択反射波長は、上記した発明が解決しようとする課題の項で説明したように光の入射角によって変化するが、本実施形態ではらせん軸に分布を持たせた構成により選択反射波長の角度依存性を平均化し、液晶パネル2への入射光の角度による色度変化を緩和または解消している。これにより、光利用効率が高く明るく低消費電力であるとともに、視野角特性の優れた見やすい液晶表示を得ることができる。

【0053】らせん軸の方位に関しては、その傾き角 θ が大きすぎるものはかえって正面方向の特性を悪化させるし、小さいものばかりでは上記の特性改善効果がない。表2はらせん軸傾き角の分布をほぼ正規分布とした場合について、その標準偏差 σ と液晶表示装置の特性の関係を示したものである。

【表2】

16

σ (度)	$\theta = 30$ 度での着色	正面輝度
0	×	◎
5	△	◎
10	○	◎
15	◎	◎
20	◎	◎
25	◎	○
30	◎	△
35	◎	△
40	◎	×
45	◎	×

尚、上記表2では、着色の緩和及び正面輝度につき、非常に良好な場合を◎、良好な場合を○、やや悪い場合を△、悪い場合を×で表示した。

標準偏差 σ が10度から25度の間にあるものが、斜め方向の着色が少なく正面輝度の改善効果が大きいので、20 良好な表示特性を示す。さらに、標準偏差 σ を15度から20度の間に設定すれば最も良好な特性を得ることができる。

【0054】本実施形態で用いたコレステリック液晶層12は、エンボス加工などにより数ミクロンから數十ミクロンのピッチで表面に凹凸がつけられたフィルム基板の上に、コレステリック液晶層を成長させることにより作製することができる。コレステリック液晶の成長は、特開平6-281814号公報に示されるように、紫外光等の照射によって行うことができる。

【0055】また、らせん軸方向の分布につき、上記の例では、正規分布としたけれども、らせん軸のうち2/3が、頂角が正負15~20度の円錐内にある分布構成としてもよい。なお、頂角は垂直方向から片側に測ったものとしている。このような分布を得る方法としては、正規分布の場合と同様にフィルム基板の上に、凹凸をつけてコレステリック液晶を成長させる方法の他に、以下の方法もある。即ち、一旦らせん軸が法線方向に向いたフィルムを作製した後、レーザや熱により分子を熱運動させるか、または、溶媒の再添加により分子配向の規制力を一時的に緩和することにより、らせん軸をややランダムにする方法が用いられる。なお、いずれの場合も、冷却や溶媒の蒸発により、分布したらせん軸を固定する。

【0056】(実施形態6) 図11は本発明の第6の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、第1の実施形態と同じ構成要素には同じ番号をつけて、説明を省略する。本実施形態は、位相板がバックライト10側から順に第1の位相板14と第2の位相板13で構成されている点と、光拡散素子9を用いていない点が第1の実施形態と異なっている。液晶の表示モ

ードは、TN型やSTN型でも構わないし、散乱型を用いることもできる。本実施形態は、円偏光を直線偏光に変換する位相板の視野角依存性を解消あるいは緩和することにより表示特性が良好な液晶表示装置を得るものである。

【0057】図12は位相板の視野角依存性を説明するものである。先ず、図12を参照して、本実施形態の前提となる位相板の視野角依存性の具体的内容を説明し、その後に、本実施形態の特徴である2枚の位相板13、14の具体的な動作原理を説明することにする。位相板15は1軸異方性を有しており、図では便宜上、棒状分*

$$R(\theta) = R \cdot \cos^2 \theta_1 \cdot d / \cos \theta_1 = R \cdot \cos \theta_1 \quad (2)$$

で、傾き角とともに減少する。ここで、Rは正面方向からのリターデーションである。

【0058】なお、参考までに、上記した入射光が位相板15の主軸方向から入射した場合に、屈折率異方性が $\cos \theta_1$ の2乗に比例して増加する理由について、以下に詳述する。図13(a)は屈折率楕円体を示している。位相板15は1軸異方性を有し、xが対称軸である。 n_x, n_y, n_z を主屈折率とし、 n_e を異常屈折率とする。

$$no(\theta) = \overline{OB} (-ny=nz) \quad (3)$$

【数2】

$$ne(\theta) = \overline{OA} \quad (4)$$

線分OAの長さを計算するために、図13(b)に示すように、屈折率楕円体のxz断面を考える。点Aの座標は $(n_e \cdot \cos \theta, no \cdot \sin \theta)$ であるから、 n

$$ne(\theta) = \sqrt{ne^2 \cdot \cos^2 \theta + no^2 \cdot \sin^2 \theta} \quad (5)$$

式(5)を変形すると、式(6)となる。

30 【数4】

$$ne(\theta) = \sqrt{ne^2 \cdot \cos^2 \theta - no^2 \cdot \cos^2 \theta + no^2}$$

$$\begin{aligned} &= no \sqrt{\left(\frac{ne}{no}\right)^2 - 1} \cdot \cos^2 \theta + 1 \\ &= no \sqrt{1 + \left(\frac{ne}{no} - 1\right) \cdot \left(\frac{ne}{no} + 1\right) \cdot \cos^2 \theta} \quad (6) \end{aligned}$$

液晶物質の場合は、 no が1.5付近の値であり、 $\Delta n (=ne - no)$ が0.07~0.2程度の値である。また、延伸フィルムの場合は、 no が1.5付近の値であり、 Δn が0.01程度の値である。したがって、異常屈折率 n_e と常屈折率 n_o の比は次の式(7)で表される。

$$ne/no = 1 + \epsilon \quad (7)$$

なお、 ϵ は $0 < \epsilon \leq 1$ とする。この式(7)を上記式(6)に代入すると、式(8)~式(12)と変形される。

【数5】

*子16が1方向に配列したものとしてこれを表している。この位相板15の正面からのリターデーションRは、位相板の屈折率異方性 Δn と厚みdの積 $\Delta n \times d$ で表される。図12(a)は、位相板の主軸方向に傾いた方向から入射した光が伝播する様子を示したものである。空气中から θ_0 の方向から入射した光は界面で屈折し、角度 θ_1 で位相板15の中を伝播する。この結果、光が位相板15の中を伝播する距離は $d/\cos \theta_1$ で増加する。一方、光の伝播方向が位相板の光軸方向に近くでの、屈折率異方性は $\cos \theta_1$ の2乗に比例して増加する。従って、リターデーションは、

※率、 n_o を常屈折率とし、 $n_e = n_x, n_o = n_y = n_z$ とする。また、光の伝播方向 α はz方向を基準とし、そこからx軸方向に θ 傾いているものとする。 α 方向に伝播する光の屈折率は、これに垂直な平面が屈折率楕円体を切る面に作る楕円で表される。そのときの2つの主屈折率は式(3), (4)で表される。

【数1】

$$no(\theta) = \overline{OB} (-ny=nz) \quad (3)$$

【数2】

$$ne(\theta) = \overline{OA} \quad (4)$$

★ $e(\theta)$ は、式(5)で示される。

【数3】

$$ne(\theta) = \sqrt{ne^2 \cdot \cos^2 \theta - no^2 \cdot \cos^2 \theta + no^2} \quad (5)$$

30 【数4】

$$ne(\theta) = \sqrt{ne^2 \cdot \cos^2 \theta - no^2 \cdot \cos^2 \theta + no^2}$$

$$\begin{aligned} &= no \sqrt{\left(\frac{ne}{no}\right)^2 - 1} \cdot \cos^2 \theta + 1 \\ &= no \sqrt{1 + \left(\frac{ne}{no} - 1\right) \cdot \left(\frac{ne}{no} + 1\right) \cdot \cos^2 \theta} \quad (6) \end{aligned}$$

$$ne/no = 1 + \epsilon \quad (7)$$

なお、 ϵ は $0 < \epsilon \leq 1$ とする。この式(7)を上記式(6)に代入すると、式(8)~式(12)と変形される。

【数5】

(11)

19

$$ne(\theta) = no \cdot \sqrt{1 + \varepsilon \cdot (2 + \varepsilon) \cdot \cos^2 \theta} \quad (8)$$

20

$$\approx no \cdot \sqrt{1 + 2\varepsilon \cdot \cos^2 \theta} \quad (9)$$

$$\approx no \cdot (1 + \varepsilon \cdot \cos^2 \theta) \quad (10)$$

$$= no \cdot (1 + \frac{ne}{no} \cdot \cos^2 \theta) \quad (11)$$

$$= no + ne \cdot \cos^2 \theta \quad (12)$$

但し、式(9)から式(10)への変形は、式(13)
の関係を使っている。

$$|2\varepsilon \cdot \cos^2 \theta| \leq |$$

よって、 $\Delta n(\theta)$ は式(14)となる。

$$\begin{aligned} \Delta n(\theta) &= ne(\theta) - no(\theta) \\ &\approx (no + ne \cdot \cos^2 \theta) - no \end{aligned} \quad (14)$$

*【数6】

*

(13)

【数7】

この式(14)より、式(15)が成立する。

$$\Delta n(\theta) = ne \cdot \cos^2 \theta \quad (15)$$

したがって、屈折率異方性が $\cos \theta$ の2乗に比例して增加することが理解される。

【0059】次に、図12(b)を参照して、位相板15の動作説明に話を戻すことにする。図12(b)は、位相板15の主軸と直交方向に傾いた方向から入射した光が伝播する様子を示したものである。空气中から θ_0 ※

$$R(\theta) = R / \cos \theta_1$$

で、傾き角とともに増加する。

【0060】図14は、本実施形態の液晶表示装置について、2枚の位相板の動作を説明するものである。第1の位相板14は正の屈折率異方性を持ち、第2の位相板13は負の屈折率異方性を持っている。2つの位相板13, 14の光学的な主軸は、いずれも図の左右方向に向きほぼ平行に配置されており、第1の位相板14と第2の位相板13のリターデーションは互いに減じあう関係にある。なお、このような第1の位相板14と第2の位相板13の配置状態はリターデーションの視野角補償効果を最大とする配置状態であるが、本発明は必ずしもこ★

$$+R1 = +\Delta n1 \times d1 \quad (17)$$

$$-R2 = -\Delta n2 \times d2 \quad (18)$$

上式中、 $\Delta n1$ と $\Delta n2$ はそれぞれ位相板14と位相板13の屈折率異方性であり、 $d1$ と $d2$ はそれらの厚み★

$$R_{total} = R1 - R2$$

正面方向から入射した円偏光を直線偏光にするため、合成リターデーションが $\pm (2n+1)/4$ 波長となるように、 $R1$ と $R2$ の値は調整されている。特に合成リターデーションを $\pm 1/4$ 波長とすれば、波長による偏光変換特性の差が小さく、すべての波長にわたって良好な輝度向上効果が得られる。

$$+R1(\theta) = +R1 \cdot \cos \theta_1 \quad (20)$$

$$-R2(\theta) = -R2 \cdot \cos \theta_2 \quad (21)$$

20※の方向から入射した光は界面で屈折し、角度 θ_1 で位相板15の中を伝播する。この結果、光が位相板15の中を伝播する距離は $d / \cos \theta_1$ で増加する。この場合は、光の伝播方向が変わっても屈折率異方性は変わらない。従って、リターデーションは、

(16)

★れに限定されるものではなく、第1の位相板14と第2の位相板13の主軸が平行でない配置状態であっても、十分良好なリターデーションの視野角補償効果が得られる。また、図14においては、説明を簡略化するため、2枚の位相板13, 14の上下が空気層であるものとしている。2枚の位相板13, 14のリターデーションは互いに逆符号と考えられるので、第1の位相板14のリターデーションを $+R1$ 、第2の位相板13のリターデーションを $-R2$ とすると、これらは次の式で表される。

(17)

(18)

40★である。2枚の位相板を合わせた正面方向からの合成リターデーションは、この両者から次式で表される。

(19)

【0061】図14には主軸と同方向に傾いた方向から入射した光の伝播経路が示されている。光は、第1の位相板14の中では傾き角 θ_1 で、第2の位相板13の中では傾き角 θ_2 で伝播する。これらの位相板のリターデーションは、式(2)と同様に考えて次の式で表される。

(20)

(21)

この両者より、合成リターデーションは次式のようにな
る。

$$R_{\text{total}}(\theta) = +R_1(\theta) - R_2(\theta)$$

$$= +R_1 \cdot \cos \theta_1 - R_2 \cdot \cos \theta_2 \quad (22)$$

【0062】以下、 R_1 が R_2 より大きく、合成リターデーションが正の場合について考える。第1の位相板14の屈折率を n_1 、第2の位相板13の屈折率を n_2 とすると、屈折の法則より次の(23)式が成立つ。なお、複屈折媒体の屈折率は伝播光の偏光面によって異なる*

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2 / n_1 \quad (23)$$

これらの屈折率の大小と合成位相板の視野角特性を以下 10※く。この結果、合成リターデーションは次式で表され、に考察する。 $n_1 = n_2$ の場合は、 $\theta_1 = \theta_2$ であるので位相板を1枚用いた場合と同様の視野角依存である。で、 $R_1(\theta)$ と $R_2(\theta)$ は同じ割合で減少している。※

$$\begin{aligned} R_{\text{total}}(\theta) &= +R_1 \cdot \cos \theta_1 - R_2 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (R_1 - R_2) \cos \theta_1 \\ &= R_{\text{total}} \cdot \cos \theta_1 \end{aligned} \quad (24)$$

【0063】次に、 $n_1 > n_2$ の場合には $\theta_1 < \theta_2$ となる。 θ_0 の増大とともに $R_1(\theta)$ と $R_2(\theta)$ はともに減少するが、 $\theta_1 < \theta_2$ であるので $R_2(\theta)$ の減少の割合は $R_1(\theta)$ のそれを上回る。この結果、 R_1 から R_2 を差し引いた差で表される合成リターデーションの視野角変化が緩和される。 $n_1 < n_2$ の場合には $\theta_1 > \theta_2$ となるので、視野角変化に対して、 $R_2(\theta)$ は $R_1(\theta)$ より減少する割合が少なく、合成リターデーションの視野角変化が緩和される。

★ーションの視野角特性は悪化する。

【0064】今度は、主軸と直角方向に傾いた方向から入射した光について考える。上記と同様に、光は第1の位相板14の中では傾き角 θ_1 で、第2の位相板13の中では傾き角 θ_2 で伝播する。これらの位相板のリターデーションは、式(16)と同様に考えて、次の式で表される。

$$+R_1(\theta) = +R_1 / \cos \theta_1 \quad (25)$$

$$-R_2(\theta) = -R_2 / \cos \theta_2 \quad (26)$$

この両者より、合成リターデーションは次式のようになる。

$$\begin{aligned} R_{\text{total}}(\theta) &= +R_1(\theta) - R_2(\theta) \\ &= +R_1 / \cos \theta_1 - R_2 / \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (27)$$

θ_0 が増加すると、 $R_1(\theta)$ と $R_2(\theta)$ はともに増加して行く。主軸方向に傾いた場合と同様に考えると、 $n_1 > n_2$ であれば $R_2(\theta)$ の増加の割合が $R_1(\theta)$ の増加の割合を上回り、合成リターデーションの視野角依存性が緩和される。従って、 $n_1 > n_2$ であれば、いずれの方向においてもリターデーションの視野角依存が緩和される。

なので、これが $1/4$ 波長となる波長(主波長)は 55 0 nm の緑光であるが、60 度方向からのリターデーションは 110 nm、あるいは 165 nm 程度となり、主波長は 440 nm(青色領域)や、660 nm(赤色領域)となる。この結果、通常の構成では色度特性が視野角により大幅に変化したり、偏光変換特性が大幅に低下したりする。一方、本実施例の構成では、 θ_0 が 60 度でも合成リターデーションの変化は 5 nm 程度であり、主波長の変化は 20 nm 程度なので、ほとんど表示特性への影響はない。

【0065】図15は R_1 を 412.5 nm、 R_2 を 275 nm、 n_1 を 1.5、 n_2 を 1.3 として、合成リターデーションの視野角変化をシミュレーションした結果である。横軸は空気中からの光の入射角 θ_0 である。図には、リターデーションが 137.5 nm で屈折率が 1.5 の位相板のシミュレーション結果を、比較のために示している。図中の実線 141、142 は 2 枚の位相板を使用した場合、破線 143、144 は 1 枚の位相板を使用した場合のリターデーションであり、実線 141 と破線 143 は主軸に直交する側に入射角 θ_0 を傾けた場合、実線 142 と破線 144 は主軸側に入射角 θ_0 を傾けた場合の特性である。

【0066】位相板が 1 枚の場合には、入射角 θ_0 が 60 度の付近でリターデーションが 30 nm 近く変化してしまう。正面からのリターデーションは 137.5 nm 50 n 2/n 1 を 1 から小さくしていくと補償効果により△

R が減少する。しかしながら、これが小さくなりすぎると補償効果が強すぎて、いわゆる過補償状態になり ΔR が逆に増大する。 n_2 / n_1 の値は、0.85 から 0.97 付近に設定するのが良好な特性の得られる R_2 の領域が広いので望ましい。図 16 の各曲線は、ほぼ、(1*)

$$\frac{15.6}{(1 - \frac{n_2}{n_1})^{1.25}} \leq R_2 \leq \frac{32.9}{(1 - \frac{n_2}{n_1})^{1.25}} \quad (28)$$

さらに、式 (29) の条件を満たせば、 ΔR が 5 nm 以下になり、非常に良好な視野角特性を得ることができ※10 【数 9】

$$\frac{19.9}{(1 - \frac{n_2}{n_1})^{1.25}} \leq R_2 \leq \frac{27.8}{(1 - \frac{n_2}{n_1})^{1.25}} \quad (29)$$

【0068】上記の説明では R_1 が R_2 より大きいものとしたが、これとは逆に R_2 が R_1 より大きい場合には、 $n_1 < n_2$ であれば視野角変化にともなう $R_1(\theta)$ の変化が $R_2(\theta)$ の変化を緩和し、リターデーションの視野角依存が減少する。この場合、 n_1 と n_2 、および、 R_1 と R_2 を入れ替えれば、それぞれのパラメータの値に関しても上記の議論をそのまま適用することができる。また、上記の説明では第 1 の位相板が正の屈折率異方性をもち、第 2 の位相板が負の屈折率異方性をもつものとしたが、これとは逆に第 1 の位相板が負の屈折率異方性を、第 2 の位相板が正の屈折率異方性をもつ場合でも、 R_1 が R_2 より大きい場合には $n_1 > n_2$ 、 R_1 が R_2 より小さい場合には $n_1 < n_2$ であれば、上記の説明と同様にリターデーションの視野角依存性が減少する。要するに、2 枚の位相板で屈折率異方性が逆符号になっており、リターデーションの大きい位相板の屈折率が、リターデーションの小さい位相板の屈折率より大きいことがポイントである。

【0069】なお、第 1 及び第 2 の位相板の主屈折率の関係をも考慮すると、 $n_1 < n_2$ である場合、第 1 の位相板の主屈折率のうち大きい方が、第 2 の位相板の主屈折率のうち小さい方よりさらに小さい値であるとき、より視野角補償効果が働く。したがって、このような主屈折率の条件を満たすような第 1 及び第 2 の位相板を使用すれば、一層のリターデーションの視野角依存性が減少し、視野角特性の向上効果が得られる。同様に、 $n_1 > n_2$ である場合には、第 1 の位相板の主屈折率のうち小さい方が、第 2 の位相板の主屈折率のうち大きい方よりさらに大きい値をとれば、こちらもなお望ましい視野角特性向上効果が得られる。

【0070】本実施形態の構成によれば、上記したように液晶表示装置の視野角特性を良好にするものであるが、これによりバックライトから発せられた光のうち有★

$$R_1(\theta_x) = \frac{d}{\cos \theta_x} \cdot \left\{ \sqrt{n_{x1}^2 \cdot \cos^2 \theta_x + n_{z1}^2 \cdot \sin^2 \theta_x} - n_{y1} \right\} \quad (30)$$

1 軸異方性フィルム ($n_{x1} > n_{y1} = n_{z1}$) の場合に

* $- n_2 / n_1$ の 1.25 乗に反比例するものとして近似できる。従って、 R_2 が式 (28) の範囲内にあれば、 ΔR が 10 nm 以下になり、良好な視野角特性を得ることができる。

【数 8】

※る。

※10 【数 9】

★効利用される成分が増えるので、光利用効率が向上するという効果もある。本実施形態の構成は、第 1 から第 5 のいずれの実施形態の液晶表示装置と組み合わせてもその表示特性が改善されるが、特に、第 5 の実施形態に示したようにコレステリック液晶のらせん軸方向に分布をもたせて、円偏光分離特性の視野角特性を向上したものと組み合わせるのが、両者の良好な視野角特性をお互いに生かす意味で望ましい結果を与えた。なお、本実施形態の構成では、2 枚の位相板を使用したけれども、本発明は、これに限定されるものではなく、3 枚以上の位相板を使用する構成であってもよい。

【0071】(実施形態 7) 図 17 は本発明の第 7 の実施形態の液晶表示装置の構成を示す断面図である。図において、第 6 の実施形態と同じ構成要素には同じ番号をつけて説明を省略する。本実施形態の特徴は、第 6 の実施形態では 1 軸性で複屈折の符号と屈折率が異なる 2 枚の位相板 13, 14 を用いたが、本実施形態では 2 枚の位相板 13A, 14A のうち少なくとも片方を 2 軸性とすることにより、円偏光を直線偏光に変換する位相板の視野角依存性を解消あるいは緩和して、表示特性が良好な液晶表示装置を得るものである。図 18 は、2 枚の位相板 13A, 14A の主屈折率を図示したものである。矢印の大きさが主屈折率の大きさを示している。第 1 の位相板 14A では n_{x1} が n_{y1} より大きくなっている。正面方向からの複屈折は $n_{x1} - n_{y1}$ で正の値である。第 2 の位相板 13A では n_{x1} が n_{y1} より小さくなっている。正面方向からの複屈折は $n_{x2} - n_{y2}$ で負の値をとる。

【0072】第 1 の位相板 14A について x 方向に傾いた方向 θ_x に伝播する光を考えると、そのリターデーション $R_1(\theta_x)$ は式 (30) に示すものとなる。

【数 10】

50 は、式 (30) に 1 軸異方性の条件をいれ、前記式

25
 (5) ~ (15) の近似を行うと、式(30)は式(31)で近似される。この式(31)より、1軸異方性フィルムの場合、 θ_x が増大すると $R1(\theta_x)$ は減少する。

$$\begin{aligned} R1(\theta_x) &= \frac{(nx_1 - ny_1) \cdot \cos^2 \theta_x \cdot d}{\cos \theta_x} \\ &= (nx_1 - ny_1) \cdot d \cdot \cos \theta_x \end{aligned} \quad (31)$$

【0073】以下、 nz_1 を ny_1 より少し変化させた場合を考える。式(30)において θ_x が増加すると、平方根の中の第1項 ($nx_1^2 \cdot \cos^2 \theta_x$) は減少し、第2項 ($nz_1^2 \cdot \sin^2 \theta_x$) は増加する。したがって、 nx_1 が一定の場合、 nz_1 が小さければ第1項と第2項の和はより速く減少し、 nz_1 が大きければ第1項と第2項の和は減少しにくくなる。式(30)に示したように、 θ_x 方向には $R1(\theta_x)$ が減少する視野角依存性を示すので、 nz_1 を ny_1 より大きくして平方根の部分が減少しにくいようすれば、1軸異方性

$$R1(\theta_y) = \frac{d}{\cos \theta_y} \cdot \{ nx_1 - \sqrt{ny_1^2 \cdot \cos^2 \theta_y + nz_1^2 \cdot \sin^2 \theta_y} \}$$

(32)

【0074】1軸異方性フィルム ($nx_1 > ny_1 = nz_1$) の場合には、上式のかっこの中は定数となり、 $R1(\theta_y)$ は $1/\cos \theta_y$ のファクタで増加していく。 nz_1 が ny_1 より大きい場合には、 θ_y の増加とともに式(32)の平方根の中の数値が増大するが、平方根の前に負号がついているので、これは $R1(\theta_y)$ の値を減少させるものとして働く。即ち、 $nz_1 > ny_1$ とすれば1軸異方性の場合に比べて $R1(\theta_y)$ の視野角依存性を緩和することができる。また、 $nz_1 < ny_1$ とすれば $R1(\theta_y)$ の視野角依存性を1軸異方性の場合より大きくすることができる。

【0075】従って、1軸性の位相板から nz_1 を ny_1 より小さくすると、 x 方向、 y 方向ともにリターデーションの視野角依存が増大し、 nz_1 を ny_1 より大きくすると、 x 方向、 y 方向ともにリターデーションの視

*る傾向にある。

【数11】

10 10 性の場合に比べて視野角依存性を小さくすることができ。これとは逆に、 nz_1 を ny_1 より小さくすれば、 θ_x 関する視野角依存性が大きくなる。なお、正面方向から見た場合 ($\theta_x = 0$) には $\sin \theta_x = 0$ であるので、式(30)において nz_1 の値は正面からリターデーションには影響を及ぼさない。 y 方向に θ_y だけ傾いた方向に伝播する光については、そのリターデーション $R1(\theta_y)$ は式(32)に示すものとなる。

【数12】

野角依存が減少する。第2の位相板13Aは負の複屈折を持っているので、上記に説明した正の複屈折の場合とは逆に、 nz_2 が ny_2 より大きい場合にリターデーションの視野角依存が増大し、 nz_2 が ny_2 より小さい場合にリターデーションの視野角依存が減少する。

【0076】第6の実施形態でも説明したように、2枚の位相板のうちリターデーションの絶対値が小さい方の視野角依存が他方の視野角依存より大きければ、合成リターデーションの視野角特性が良好なものになる。従って、本実施形態では上記の検討に基づいて、表3及び表4に示すように、少なくとも一方の位相板の nz の値を ny の値とは異なるようにして、良好な視野角特性の液晶表示装置を得ることができた。

【表3】

条件	第1の位相板の条件	第2の位相板の条件
a	$nz_1 = ny_1$	$nz_2 > ny_2$
b	$nz_1 > ny_1$	$nz_2 = ny_2$
c	$nz_1 > ny_1$	$nz_2 > ny_2$
d	$nz_1 < ny_1$	$nz_2 > ny_2 + ny_1 - nz_1$

【表4】

条件	第1の位相板の条件	第2の位相板の条件
a	$nz_1 < ny_1$	$nz_2 = ny_2$
b	$nz_1 = ny_1$	$nz_2 < ny_2$
c	$nz_1 < ny_1$	$nz_2 < ny_2$
d	$nz_1 > ny_1 + nz_2 - ny_2$	$nz_2 > ny_2$

【0077】上記表3は第1の位相板14Aのリターデーションが第2の位相板13Aより大きい場合の、第1及び第2の位相板14A, 13Aの満たすべき条件を示している。上記表4は第1の位相板14Aのリターデーションが第2の位相板13Aより小さい場合の、第1及び第2の位相板14A, 13Aの満たすべき条件を示している。第1の位相板14Aのリターデーションが第2の位相板13Aより大きい場合には、表3に示す条件a～dのいずれかが満たされていれば、第2の位相板13Aの相対的な視野角依存が大きくなり、良好な視野角特性の液晶表示装置を得ることができる。なお、表3の条件aは、第1の位相板14Aが1軸異方性で、第2の位相板13Aが2軸異方性の場合の条件を示しており、表3の条件bは、第1の位相板14Aが2軸異方性で、第2の位相板13Aが1軸異方性の場合の条件を示している。表3の条件c, dは、第1及び第2の位相板14A, 13Aがともに2軸異方性である場合の条件を示している。なお、 n_z 1が n_y 1より小さい場合（表3の条件dの場合）には第1の位相板14Aの視野角依存が増大するので、第2の位相板13Aの視野角依存がこれを上回る必要があり、この場合の第2の位相板13Aの条件が表3に示されている。

【0078】一方、第1の位相板14Aのリターデーションが第2の位相板13Aより小さい場合には、表4に示す条件a～dのいずれかが満たされていれば、第1の位相板14Aの相対的な視野角依存が大きくなり、良好な視野角特性の液晶表示装置を得ることができる。なお、表4の条件aは、第1の位相板14Aが2軸異方性で、第2の位相板13Aが1軸異方性の場合の条件を示しており、表4の条件bは、第1の位相板14Aが1軸異方性で、第2の位相板13Aが2軸異方性の場合の条件を示しており、表4の条件c、dは、第1及び第2の位相板14A、13Aがともに2軸異方性である場合の条件を示している。上記の説明では、第1の位相板14Aが正の複屈折、第2の位相板13Aが負の複屈折を持つものとしたが、これは逆でもかまわない。

【0079】本実施形態の構成も第6の実施形態の構成と同様、液晶表示装置の視野角特性を良好にするとともに、バックライトから発せられた光のうち有効に利用される成分が増えるので、光利用効率が向上するという効果もある。また、本実施形態の構成は、第1から第5のいずれの実施形態の液晶表示装置と組み合わせてもその表示特性が改善されるが、特に、第5の実施形態に示したようにコレステリック液晶のらせん軸方向に分布をもたせて、円偏光分離特性の視野角特性を向上したものと組み合わせるのが、両者の良好な視野角特性をお互いに生かす意味で望ましい結果を与えた。

【0080】さらに、本実施形態は、第6の実施形態と比べて、2枚の位相板の屈折率を大幅に変える必要がないので位相板材料の選定が容易になったり、位相板の法

線方向の屈折率を大幅に増減する必要がないので、その製造が容易になるという利点がある。なお、上記の第1から第7の実施形態において、バックライトはいわゆるエッジライト型のものでもかまわないし、直下型のものでもかまわない。また、表面や裏面に光拡散層を備えたものであっても、裏面に反射板を備えたものであってもかまわない。

【0081】なお、本実施形態の構成では、2枚の位相板を使用したけれども、本発明は、これに限定されるも

10 のではなく、3枚以上の位相板を使用する構成であってもよい。また、第1～第7の実施形態では、光拡散素子、コレステリック液晶層、位相板、液晶パネル、直線偏光板などは、積層体とされていたけれども、本発明はこれに限定されるものではなく、これら光拡散素子、コレステリック液晶層などの液晶表示装置の構成要素は、各々が積層体でなく個別単体として配置されていてもよく、また、いずれか複数の構成要素が積層体で、かつ、残余の構成要素が個別単体として配置されていてもよい。また、第1～第7の実施形態では、円偏光分離層としてコレステリック液晶層を用いたが、本発明は、これに限定されるものではなく、例えば、らせん軸がねじれ構造を有する構造となっている偏光体などであってもよい。

20

[0082]

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、バックライトと円偏光分離層との間に光拡散素子を配置することにより、円偏光分離層に対して法線方向から入射する光量が増加し、有効に偏光変換される光量が増えるので、バックライトの利用効率が増加する。また本発明に

30 よれば、らせん軸方向が面内で分布を持つコレステリック液晶層を用いたり、正負の複屈折を持ち屈折率の異なる2枚の位相板を用いたり、あるいは、正負の面内複屈折を持ち少なくとも一方の位相板において法線方向の屈折率と面内の主屈折率との大小関係が視野角依存性を減少するように定められた2枚の位相板を用いるなどすることにより、リターデーションの視野角変化を解消あるいは大幅に低下させることができる。そのため、液晶表示装置の視野角特性が良好になり、バックライト光の利用効率が増加する。この結果、バックライト光の利用効率が向上して明るい表示の液晶表示装置を得ることができ、また、良好な視野角特性の液晶表示装置を得ることができます。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る液晶表示装置を示す断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る光学素子の動作を示す断面図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係る光学素子の輝度特性図である。

【図4】本発明の第2実施形態に係る液晶表示装置を示

す断面図である。

【図5】本発明の第2実施形態に係る第2の光学素子の動作を示す断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る液晶表示装置の輝度特性図である。

【図7】本発明の第2実施形態に係る液晶表示装置の好ましくない特性を示す輝度特性図である。

【図8】本発明の第3実施形態に係る液晶表示装置を示す断面図である。

【図9】本発明の第5実施形態に係る液晶表示装置を示す断面図である。

【図10】本発明の第5実施形態に係るコレステリック液晶層の構造を模式的に示す断面図である。

【図11】本発明の第6実施形態に係る液晶表示装置を示す断面図である。

【図12】位相板の視野角依存性を説明するための斜視図である。

【図13】位相板の主軸方向に傾いた方向から入射光した場合に屈折率異方性が $\cos \theta$ の2乗に比例して増加する原理を説明するための図である。

【図14】本発明の第6実施形態に係る位相板の動作を説明するための斜視図である。

10

【図15】本発明の第6実施形態に係る位相板のリターデーション変化の視野角特性を示す特性図である。

【図16】本発明の第6実施形態に係る位相板の屈折率とリターデーションの好ましい範囲を示す特性図である。

【図17】本発明の第7実施形態に係る液晶表示装置を示す断面図である。

【図18】本発明の第7実施形態に係る位相板の動作を説明するための斜視図である。

10

【図19】従来例の液晶表示装置を示す断面図である。

【符号の説明】

1 : 直線偏光板

2 : 液晶パネル

6 : 第2の直線偏光板

7 : 位相板

8, 12 : コレステリック液晶層

9 : 光拡散素子

10 : バックライト

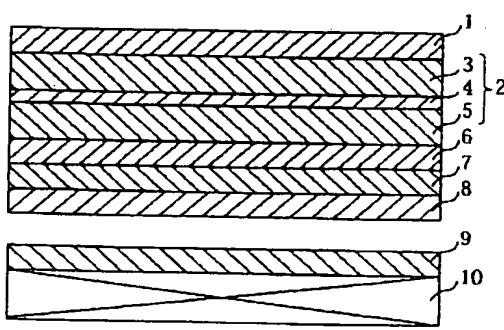
11 : 第2の光拡散素子

20

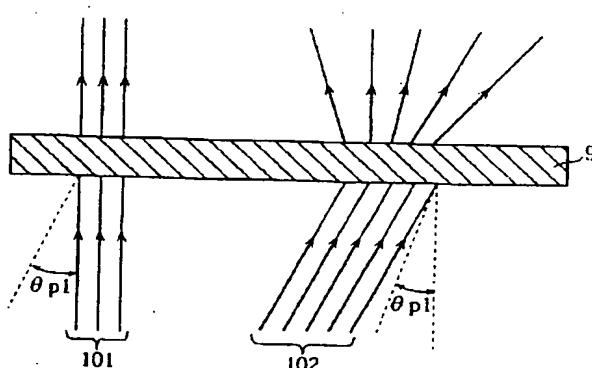
13, 13A : 第2の位相板

14, 14A : 第1の位相板

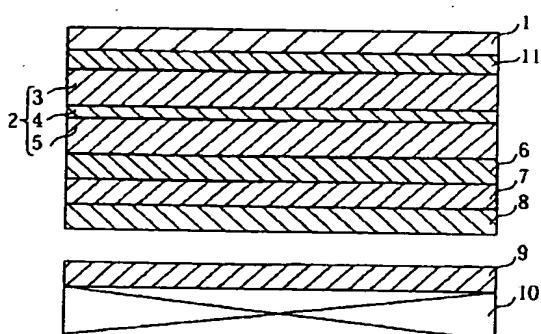
【図1】



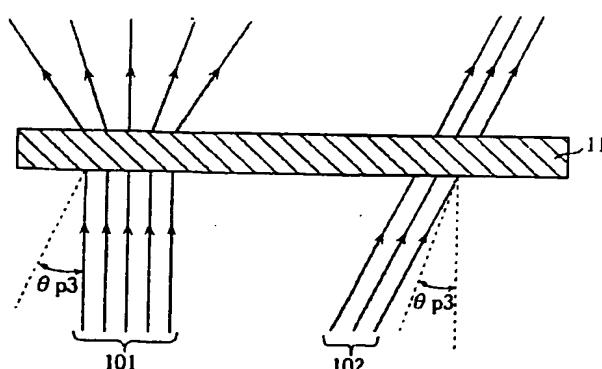
【図2】



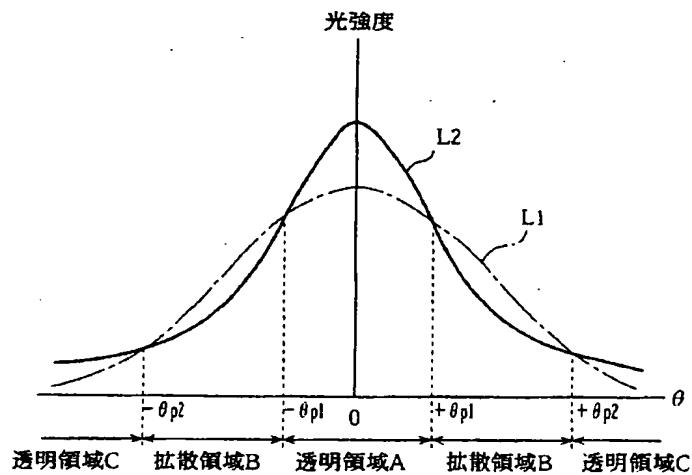
【図4】



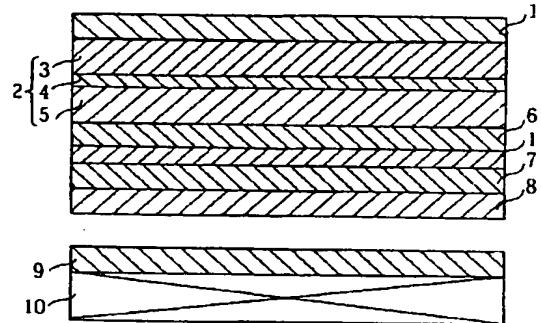
【図5】



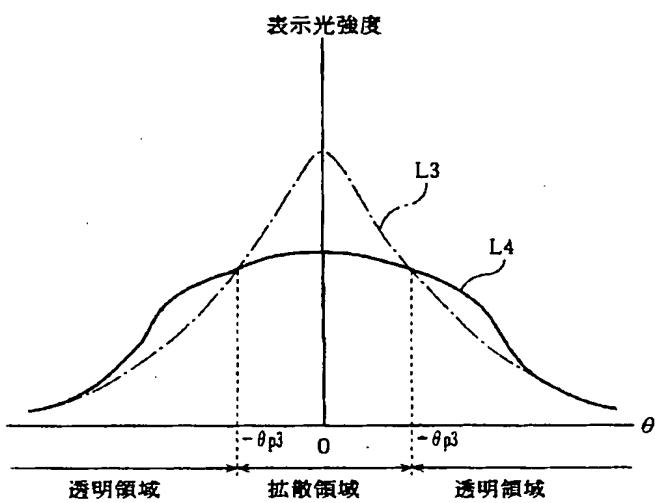
【図3】



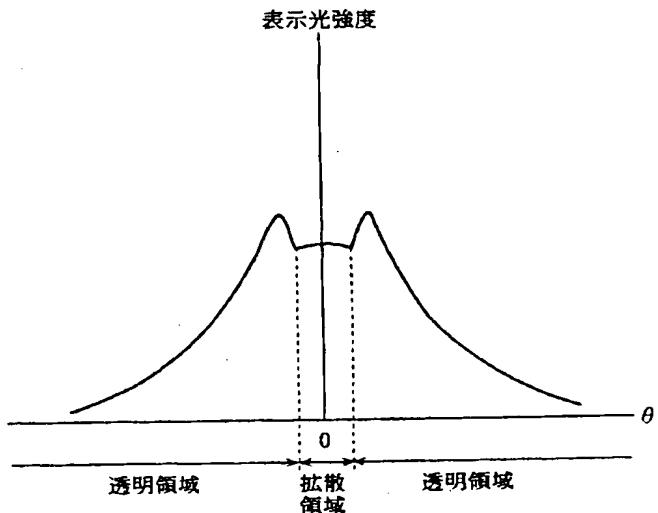
【図8】



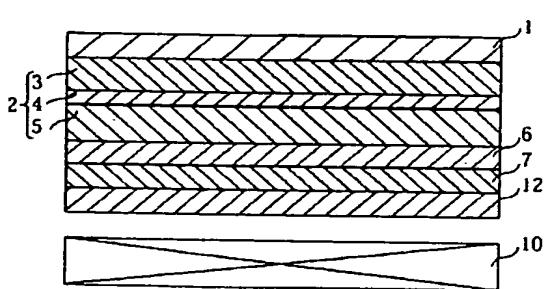
【図6】



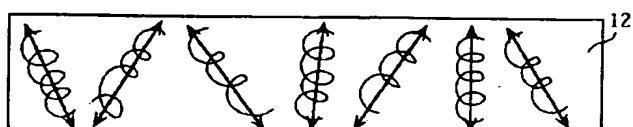
【図7】



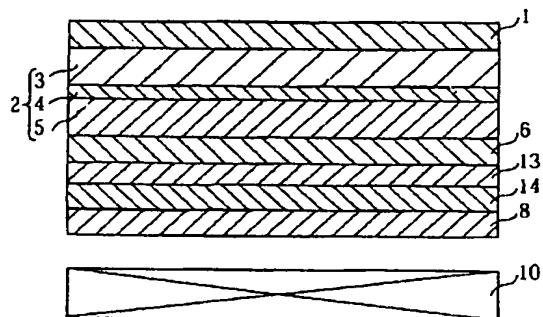
【図9】



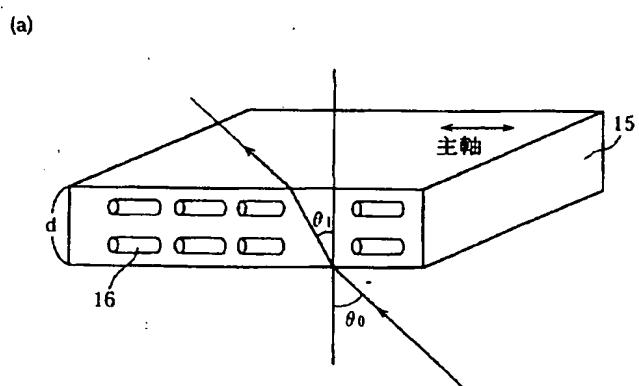
【図10】



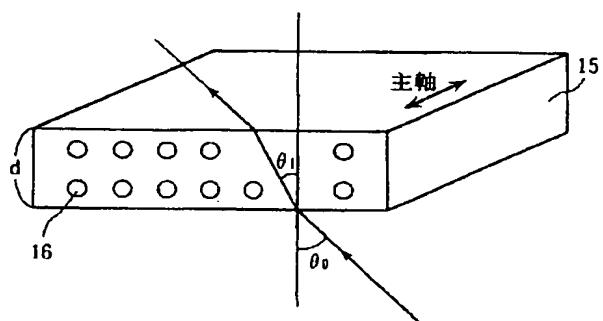
【図11】



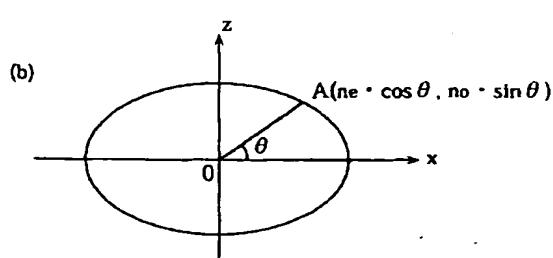
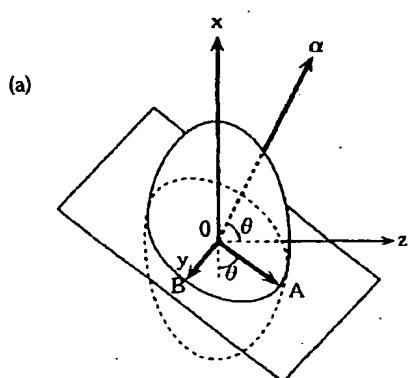
【図12】



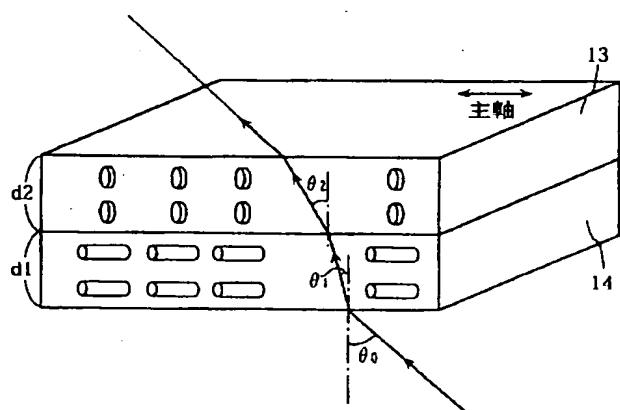
(b)



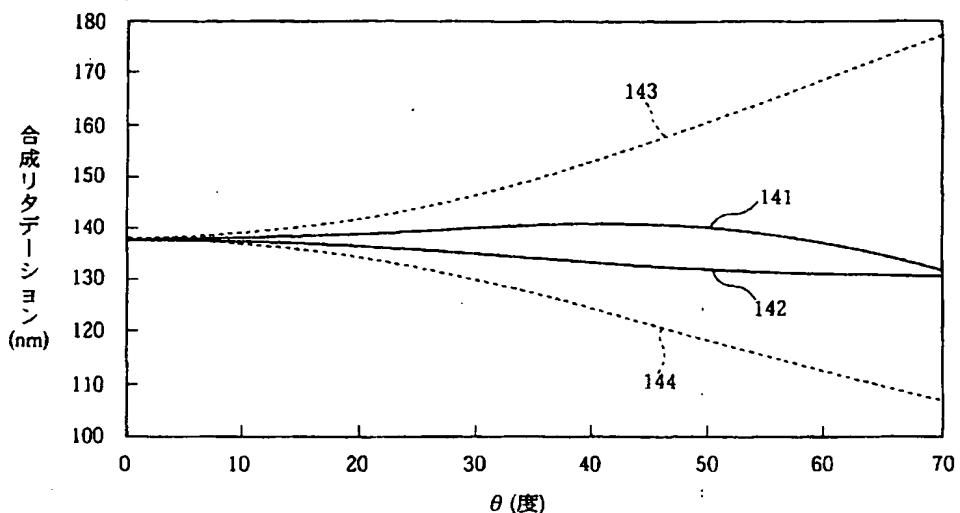
【図13】



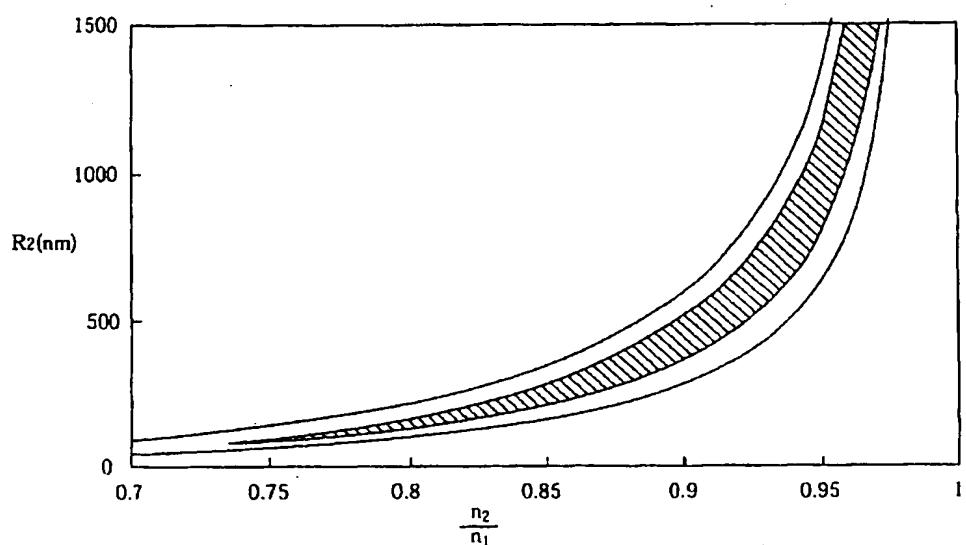
【図14】



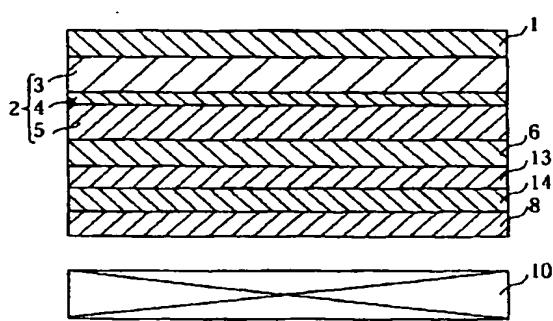
【図15】



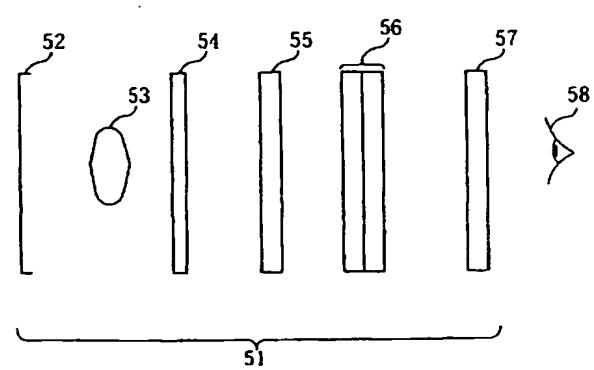
【図16】



【図17】



【図19】



【図18】

